Received: September 9, 2022 Revised: September 22, 2022
Accepted: October 10, 2022 Published: November 21, 2022

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ V415 Vir
The study of period change of V415 Vir binary stars

สุภาณี ใหม่จันทร์ดี[1] ตอริก เฮ็งปิยา[2] และ วริษา ปานเจริญ[3*]
Supanee Maichandee[1] Torik Hengpiya[2] and Warisa Pancharoen[3]

[1] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
[2] หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบ พระชนมพรรษา สงขลา สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)
[3] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
[*] warisa.pan@mail.pbru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่ V415 Vir ซึ่งเป็นดาวคู่อุปราคาประเภทแบบใกล้ชิดชนิดอุปราคา ประเภท W Uma type จัดเป็นดาวคู่อุปราคา แบบแตะกัน (Contact Binary System) โดยใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล TESS Eclipsing Binary Catalog ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากถ่ายภาพด้วยดาวเทียม TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) โดยใช้ข้อมูลที่ได้ที่ได้จากการสังเกตการณ์ในวันที่ 21- 23 มีนาคม 2563 ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้กระบวนการโฟโตเมตรี (Photometry) และเขียนกราฟระหว่างฟลักซ์และเวลา เพื่อทำการหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด จากนั้นนำข้อมูลจากฐานข้อมูลที่แสดงใน American Association of Variable Star Observers (AAVSO) และงานวิจัยนี้มาสร้างแผนภาพ O-C ของระบบดาวคู่ V415 Vir ได้แผนภาพ O-C มีลักษณะเป็นพาราโบลาหงาย แสดงให้เห็นว่าคาบการโคจรของระบบดาวคู่มีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 3.12×10^{-2} วินาทีต่อปี

คำสำคัญ: ดาวคู่, แผนภาพ O-C, อัตราการเปลี่ยนแปลงคาบ, V415 Vir

Abstract

In this research, the W Uma type of the eclipsing binary system V415 Vir was studied by using the photometry technique. The observation data from the TESS Eclipsing Binary Catalog database, which was observed on 21-23 March 2020, was used to determine the time of minimum. The data were used to plot the O-C curve. The upward parabolic curve means the period is increased at the rate of 3.12×10^{-2} seconds/year.

Keywords: binary star, O-C diagram, period change, V415 Vir

บทนำ

ระบบดาวคู่ (Binary Systems) เป็นระบบของดาวที่ประกอบด้วยสมาชิกสองดวง โคจรรอบจุดศูนย์กลางของมวลร่วมกัน และอยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงซึ่งกันและกัน (วิระภรณ์ ไหมทอง และ อมรรัตน์ ตาจุมปา , 2562) การที่นักดาราศาสตร์ศึกษาระบบดาวคู่ทำให้ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของดาวฤกษ์ และสามารถอธิบายแนวโน้มของวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ได้ (บุญรักษา สุนทรธรรม, 2550) ระบบดาวคู่แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ นั่นคือ แบบที่มองเห็นแยกจากกันชัดเจนเมื่อมองผ่านกล้องโทรทรรศน์ (Visual Binary Systems) และแบบที่มองเห็นเป็นดาวดวงเดียวกัน เนื่องจากเป็นระบบดาวคู่ที่อยู่ใกล้กันมาก (Close Binary Systems) ต้องอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ในรูปแบบอื่นๆ จึงสามารถทราบได้ว่าเป็นระบบดาวคู่ สำหรับการจำแนกประเภทของระบบดาวคู่จะต้องทำการสร้างกราฟแสง ซึ่งเป็นข้อมูลการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของแสงจากระบบดาวคู่ที่เวลาต่าง ๆ กันลักษณะของกราฟแสงที่มีการลดลงของเส้นกราฟ หมายถึงมีการโคจรบังกันภายในระบบดาวคู่ตามแนวสังเกตการณ์ซึ่งการโคจรรอบกันของระบบดาวคู่หนึ่งรอบจะเกิดการบังกันที่ทำให้ปริมาณของแสงลดลงสองครั้ง ทำให้เราสามารถหาคาบเวลาที่ระบบดาวคูโคจรรอบกันครบรอบโดยสมบูรณ์ ทำให้นักดาราศาสตร์สามารถวิเคราะห์วงโคจร และองค์ประกอบทางกายภาพของระบบดาวคู่ที่นำมาเป็นหลักฐานในการศึกษา วิวัฒนาการของการเปลี่ยนแปลงในระบบดาวคู่ได้ (อรดี พิลาโฮม และคณะ, 2561)

ดาวคู่ V415 Vir เป็นดาวคู่แบบใกล้ชิดชนิดอุปราคา ประเภท W Uma type จัดเป็นดาวคู่อุปราคาแบบแตะกัน (Contact Binary System) โดยมีชนิดของสเปกตรัม (Spectral Type) G0 มีพิกัดอยู่ที่ตำแหน่ง RA. 12 h 45 m 01.58 s Dec. +07° 57’ 05.06” มีคาบการโคจรอยู่ที่ 0.373705 วัน (SIMBAD Astronomical Database,2000) ในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงจากแผนภาพ O-C เพื่อคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของระบบดาวคู่ V415 Vir เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการของระบบดาวคู่ V415 Vir ต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

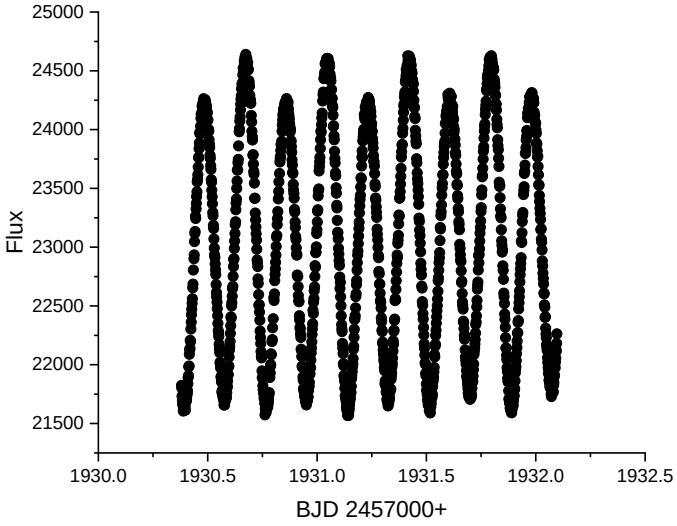
เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงจากแผนภาพ O-C เพื่อคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของระบบดาวคู่ V415 Vir

วิธีดำเนินการวิจัย

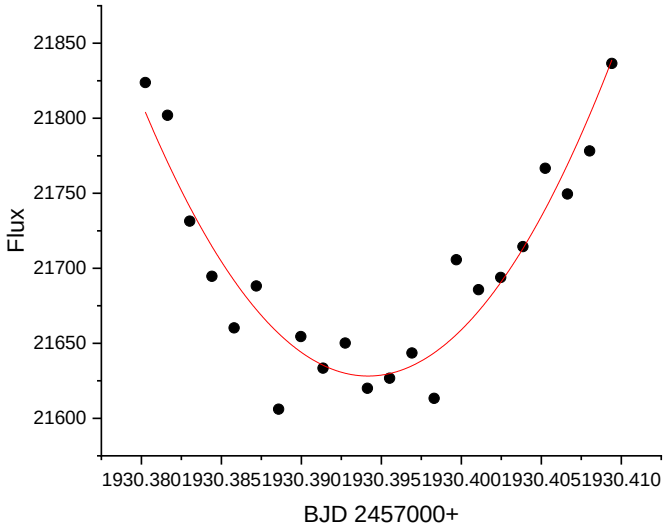
ในการศึกษาการแปรแสงของระบบดาวคู่ V415 Vir ได้ทำการเก็บข้อมูลของระบบดาวคู่จากฐานข้อมูล TESS Eclipsing Binary Catalog ซึ่งเป็นถ่ายภาพด้วยดาวเทียม TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) โดยใช้ข้อมูลที่ได้ที่ได้จากการสังเกตการณ์ในวันที่ 21- 23 มีนาคม 2563 นำมาเขียนกราฟระหว่างฟลักซ์ (flux, f) และเวลา ซึ่งจะได้กราฟที่มีค่าต่ำสุดของแสงออกมาในรูปของคาบ ดังรูปที่ 1 จากนั้นนำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum Light) เมื่อหาค่าเวลาที่แสงมีค่าน้อยที่สุดได้แล้ว จึงหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของดาวคู่ V415 Vir โดยใช้แผนภาพ O-C ใช้สมการโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 (Second Order Polynomial Fitting) ในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง O–C กับ Epoch ของระบบดาวคู่ และคำนวณคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรจากการหาอนุพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่าง O–C กับ Epoch (dP/dE)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อทำการเขียนกราฟระหว่างฟลักซ์และเวลาจะได้กราฟดังรูปที่ 1 เป็นกราฟแสงของระบบดาวคู่ V415 Vir โดยแกนตั้งแทนค่าฟลักซ์และแกนนอนแทนค่าเวลาเป็น BJD (Barycentric Julian Date) ซึ่งเป็นเวลาจูเลียนที่อ้างอิงจุดศูนย์กลางมวลของระบบสุริยะโดยคิดรวมความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของแสงและปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง (Eastman, J. et.al., 2010) นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (Time of Minimum Light) ซึ่งในงานนี้ได้คำนวณจากสมการเชิงอนุพันธ์สามัญอันดับหนึ่ง โดยทำการเลือกข้อมูลบริเวณที่แสงลดลงต่ำที่สุดนำมาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2 จากนั้นหาจุดวกกลับของเส้นโค้งซึ่งได้จากการฟิตกราฟได้ดังสมการที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสงของระบบดาวคู่ V415 Vir



รูปที่ 2 กราฟแสดงช่วงเวลาที่แสงน้อยที่สุดของดาวคู่ V415 Vir

$$y = 907252.02628x^2 - 3.50271x10^9 + 3.3808x10^{12} \quad (1)$$

จากกราฟแสงจากรูปที่ 1 เราจะเห็นถึงการลดลงของแสงในช่วงการเกิดอุปราคาปฐมภูมิ และทุติยภูมิ เมื่อทำการวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด โดยการสร้างกราฟพาราโบลา (parabola graph) ในช่วงเวลาที่เกิดอุปราคาปฐมภูมิ (Primary eclipse) และช่วงเวลาที่เกิดอุปราคาทุติยภูมิ (Secondary eclipse) หาจุดต่ำสุดของกราฟ โดยใช้สมการของ Bob Nelson ที่แสดงใน American Association of Variable Star Observers (AAVSO) ในปีค.ศ. 2017 (American Association of Variable Star Observers, 2019) โดยทำการเปลี่ยนเปลี่ยนวันจูเลียนสุริยะ (HJD) ให้เป็นวันจูเลียนศูนย์กลางมวล (BJD)

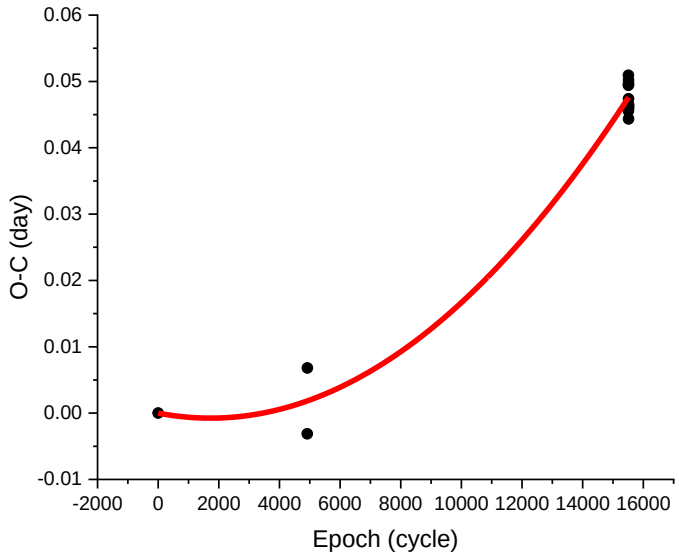
$$\text{Min. I} = \text{BJD } 53133.62072 + 0.373705\ E \quad (2)$$

เมื่อ Min. I คือ เวลา BJD ที่แสงน้อยที่สุด
E คือ จำนวนรอบของการโคจรของระบบดาวคู่

ตารางที่ 1 ค่า O–C ของระบบดาวคู่ V415 Vir

เวลาที่แสงน้อยที่สุด (BJD)	Epoch	O-C	Source
53133.62072	Epoch	O-C	GCVS 4
54971.49878	0	3×10^{-6}	IBVS 5918
54972.44298	4918.0	-0.003130	IBVS 5918
58930.39525	4920.5	0.006808	This work
58930.57824	15511.5	0.049420	This work
58930.77046	15512.0	0.045556	This work
58930.95073	15512.5	0.050927	This work
58931.14341	15513.0	0.044344	This work
58931.32631	15513.5	0.050171	This work
58931.51657	15514.0	0.046223	This work
58931.70117	15514.5	0.049630	This work
58931.88713	15515.0	0.047375	This work
58932.07345	15515.5	0.046479	This work

นำเวลาที่แสงน้อยที่สุดที่ได้จากการสังเกตการณ์ (O) ไปคำนวณหาค่า Epoch และคำนวณหาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด (C) จากนั้นนำค่าผลต่างที่ได้ไปสร้างเป็นกราฟ O-C เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบของดาวคู่V415 Vir ได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งเป็นรูปกราฟพาราโบลาหงาย นั่นแสดงถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคาบของดาวคู่ V415 Vir มีอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง O–C กับ Epoch ของระบบดาวคู่ V415 Vir

พิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง O–C กับ Epoch ของระบบดาวคู่ V415 Vir ในรูปที่ 3 ด้วยสมการโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 (Second Order Polynomial Fitting)) และใช้วิธีการฟิตกราฟด้วยสมการพหุนามกำลังสอง (Quadratic Polynomial Fitting Method) ด้วยสมการ

$$O - C = 2.54336\times10^{-10}E^2 - 8.77022\times10^{-7}\,E \qquad (3)$$

สามารถคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจร (dP/dE) ของระบบดาวคู่ V415 Vir ได้จากสมการ

$$(dP/dE) = 2(2.54\times10^{-10}) = 5.09\times10^{-10} \text{ วัน/รอบ} = 3.12\times10^{-02} \text{ วินาที/ปี}$$

จะเห็นได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของดาวคู่ V415 Vir (dP/dE) มีค่าเป็นบวก ซึ่งตีความได้ว่า คาบวงโคจรของดาวคู่ V415 Vir มีค่าเพิ่มขึ้นในอัตรา 3.12×10^{-2} วินาที/ปี แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองดวงมีค่าเพิ่มขึ้น จึงทำให้คาบของการโคจรเพิ่มขึ้นตามทฤษฎี Thermal Relaxation Oscillator (TRO) ซึ่งกล่าวถึงการถ่ายเทพลังงานระหว่างมวลระหว่างดาวคู่ ซึ่งมีผลต่อคาบกสนการโคจรของระบบ ถ้าพิจารณาว่ามวลและโมเมนตัมเชิงมุมของระบบมีค่าคงที่ เมื่อคาบการโคจรของดาวคู่มากขึ้น แสดงว่าระยะทางระหว่างดาวทั้งสองมีค่ามากขึ้นไปด้วย และถ้าระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประเภทของระบบดาวคู่เป็นแบบกึ่งแตะกัน และ แตะกันสลับกับไปเรื่อยๆ (ปกิจ สังสิริ, 2552)

สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการแปรแสงของระบบดาวคู่ V415 Vir ซึ่งทำการเก็บข้อมูลของระบบดาวคู่จากฐานข้อมูล TESS Eclipsing Binary Catalog ซึ่งเป็นถ่ายภาพด้วยดาวเทียม TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite) โดยใช้ข้อมูลที่ได้ที่ได้จากการสังเกตการณ์ในวันที่ 21- 23 มีนาคม 2563 มาทำการสร้างกราฟแสงเพื่อวิเคราะห์หาค่าเวลาที่แสงน้อยที่สุด แล้วทำการสร้างแผนภาพ O-C เมื่อพิจารณาแผนภาพและใช้วิธีการฟิตกราฟด้วยสมการพหุนามกำลังสอง พบว่าคาบวงโคจรของดาวคู่ V415 Vir มีค่าเพิ่มขึ้น ในอัตรา 3.12×10^{-2} วินาที/ปี เมื่อพิจารณาจาก Thermal Relaxation Oscillator (TRO) หมายความว่าระยะห่างระหว่างดาวทั้งสองดวงมีค่าเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ The National Aeronautics and Space Administration ในการอนุเคราะห์ข้อมูลผ่านฐานข้อมูล TESS Eclipsing Binary Catalog

เอกสารอ้างอิง

บุญรักษา สุนทรธรรม. (2550). *ดาราศาสตร์ฟิสิกส์.* เชียงใหม่: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปกิจ สังสิริ. (2552). *การเปลี่ยนแปลงคาบการแปรแสงของระบบดาวคู่แบบแตะกัน 5 ระบบ คือ CE Leonis, DF Hydrae, FZ Orion, YY Eridani และ FG Hydrae*. นครสวรรค์: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์.

วิระภรณ์ ไหมทอง และ อมรรัตน์ ตาจุมปา (2019). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบและวัตถุที่สามในระบบดาวคู่ V781 Tauri.*วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 7*(2), 179-187.

อรดี พิลาโฮม, เชิดตระกูล หอมจำปา, ธีรธาร ศรีมหา และ สมานชาญ จันทร์เอี่ยม. (2561). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคาบการโคจรของระบบดาวคู่ DF Hydrae. *วารสารวิทยาศาสตร์โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ, 1*(1), 47-54.

Bob Nelson’s Database of Eclipsing Binary O-C Files, AAVSO. Accessed on 2 Sep 2022. from https://www.aavso.org/bob-nelsons-o-c- files

Eastman, J., Sivert, R. and Guadi, B. S. (2010). Achieving Better Than 1 Minute Accuracy in Heliocentric and Barycentric Julian Dates. *The Astronomical Society of pacific,*122, 935-946.

Kreiner, J. M. (2004). An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars. *Acta Astronomica*, 54, 207-210.

Lucy, L. B. (1976). Ursae Majoris systems with marginal contact. *Astrophysics Journal,* 205, 208-216.

Penélope Alejandra Longa-Peña. (2015). *Orbital Parameters Estimation for Compact Binary Stars*. Doctor of Philosophy: Department of Physics University of Warwick.

Shu, F.H., Lubow, S.H. and Anderson, L. (1976). On the structure of contact binaries, I - The contact discontinuity. *Astrophysics Journal*, 209, 536.

SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg). Accessed on 2 Sep 2022. from http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/

TESS Eclipsing Binary Catalog. Accessed on 1 Sep 2022. from http://tessebs.villanova.edu/

Wilson, R. E. and Devinney, E. J. (1971). Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *Astrophysics Journal*, 166, 605-619.